

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-119046

(43)Date of publication of application : 30.04.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/16  
G02B 6/22

(21)Application number : 09-284051

(71)Applicant : FUJIKURA LTD

(22)Date of filing : 16.10.1997

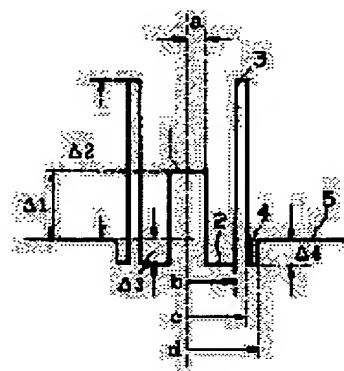
(72)Inventor : AIKAWA KAZUHIKO  
HIMENO KUNIHARU  
WADA AKIRA  
YAMAUCHI RYOZO

## (54) DISPERSION-SHIFTED OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion-shifted optical fiber (DSF) capable of reducing a non-linear effect and reducing especially a dispersion slope.

SOLUTION: The DSF is constituted so as to have values that a 1st ring part 2 with a refractive index  $n_1$ , a 2nd ring part 3 with a refractive index  $n_2$ , a 3rd ring part 4 with a refractive index  $n_3$ , and a clad part 5 with a refractive index  $n_4$  are successively formed around a center core part 1 with a refractive index  $n_0$ ,  $n_0 > n_4$ ,  $n_2 > n_4$ ,  $n_3 < n_4$ ,  $n_1 < n_4$ , and  $n_0 < n_2$  are set up, wavelength dispersion is almost zero but is not just zero in a 1.55  $\mu\text{m}$  wavelength band, an effective cross-sectional area is 80 to 130  $\mu\text{m}^2$ , a bend loss is  $< 10$  dB/m, a dispersion slope is  $< +0.1$  ps/km/nm<sup>2</sup>, and single mode propagation is always set up in 1.55  $\mu\text{m}$  band of cut-off wavelength.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-119046

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>G 0 2 B 6/16  
6/22

識別記号

F I

G 0 2 B 6/16  
6/22

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-284051

(22) 出願日 平成9年(1997)10月16日

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 愛川 和彦

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 姫野 邦治

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 和田 朗

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (外3名)

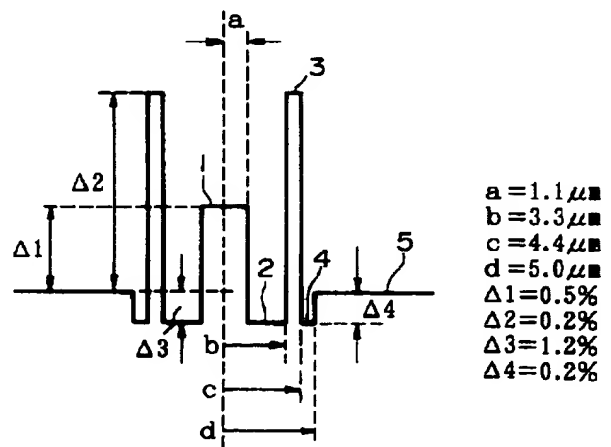
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散シフト光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 非線形効果を低減することができるとともに、特に分散スロープが小さいDSFを提供する。

【解決手段】 屈折率 $n_0$ の中心コア部1の外周に順次、屈折率 $n_1$ の第1リング部2、屈折率 $n_2$ の第2リング部3、屈折率 $n_3$ の第3リング部4、屈折率 $n_4$ のクラッド5が設けられ、 $n_0 > n_4$ で、 $n_2 > n_4$ で、 $n_3 < n_4$ で、 $n_1 < n_4$ で、 $n_0 < n_2$ であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において、波長分散がほぼゼロであってゼロではなく、かつ有効断面積が $80 \sim 130\mu\text{m}^2$ であり、かつ曲げ損失が $10\text{dB/m}$ 以下であり、かつ分散スロープが $+0.1\text{ps/km/nm}^2$ 以下であり、かつカットオフ波長が $1.55\mu\text{m}$ 帯において常にシングルモード伝搬となる値をとる分散シフト光ファイバを構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において、波長分散がほぼゼロであってゼロではなく、かつ有効断面積が $80\sim 130\mu\text{m}^2$ であり、かつ曲げ損失が $10\text{dB}/\text{m}$ 以下であり、かつ分散スロープが $+0.1\text{ps}/\text{km}/\text{nm}^2$ 以下であり、かつカットオフ波長が $1.55\mu\text{m}$ 帯において常にシングルモード伝搬となる値をとることを特徴とする分散シフト光ファイバ。

【請求項2】 請求項1記載の分散シフト光ファイバにおいて、

中心コア部の外周に第1リング部が設けられ、この第1リング部の外周に第2リング部が設けられ、この第2リング部の外周に第3リング部が設けられ、この第3リング部の外周にクラッドが設けられてなる屈折率プロファイルを有し、

前記中心コア部の屈折率を $n_0$ 、前記第1リング部の屈折率を $n_1$ 、前記第2リング部の屈折率を $n_2$ 、前記第3リング部の屈折率を $n_3$ 、前記クラッドの屈折率を $n_4$ とすると、 $n_0 > n_4$ で、 $n_2 > n_4$ で、 $n_3 < n_4$ で、 $n_1 < n_4$ で、 $n_0 < n_2$ であることを特徴とする分散シフト光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での波長分散がほぼゼロである分散シフト光ファイバ（以下、DSFと略記する。）に関し、その非線形効果と曲げ損失と分散スロープを同時に低減したものであり、特に分散スロープを十分に低減したものである。

## 【0002】

【従来の技術】DSFは、石英系光ファイバの損失が最小である波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯での波長分散値がほぼゼロである光ファイバであって、その具体的なものとしては、階段型の屈折率分布形状（屈折率プロファイル）を有するものがよく知られている。図2は階段型屈折率プロファイルの一例を示すもので、高屈折率の中心コア部11の周囲にこれよりも低屈折率の階段コア部12が設けられ、さらにこの周囲にこれよりも低屈折率のクラッド13が設けられて構成されている。図中符号a1は中心コア部11の半径、b1は階段コア部12の半径、 $\Delta 11$ は中心コア部11とクラッド13との比屈折率差、 $\Delta 12$ は階段コア部12とクラッド13との比屈折率差を示している。また、図中にこの階段型屈折率プロファイルを有するDSFの構造パラメータの設計例が示されている。

【0003】この階段型屈折率プロファイルを有するDSFは、他のタイプのDSF、例えばステップ型、三角型などの屈折率プロファイルを有するものに比べて曲げ損失が小さく、モードフィールド径（以下、MFDと略記する。）が若干大きいという特長を有するものではあるが、通常の $1.3\mu\text{m}$ 帯用シングルモード光ファイバ

に比べればMFDは小さく、約 $8\mu\text{m}$ 弱となっている。光ファイバのMFDが小さい場合には、接続損失の点で不利となるばかりでなく、光ファイバ内に伝搬される光のパワー密度が数mW以上と大きな場合、例えば光増幅器などにあつては、自己位相変調、相互位相変調、4光子混合、誘導ラマン散乱、誘導ブリルアン散乱などの非線形効果が大きくなり、伝送特性が劣化するなどの不都合が生じる。

【0004】一方最近では、高出力ブースターアンプなどを用いて高パワー密度の光を発生させ、これを光ファイバで伝送することにより、無中継伝送の長スパン化を図ることが検討されている。しかしながら、従来の階段型屈折率プロファイルを有するDSFは、非線形効果の発生によって高パワー密度の光を有効に伝送することができず、光信号の伝送距離をのばすことができないので、このような用途には不適である。

【0005】ところで非線形効果の大きさは、 $n_2/A_{\text{eff}}$ で表される。ここで $n_2$ は光ファイバの非線形屈折率、 $A_{\text{eff}}$ は光ファイバの実効断面積である。非線形効果を低減するためには、 $n_2$ は材料によりほぼ一定の値をとるため、 $A_{\text{eff}}$ を大きくすることが必要となる。実際に伝送用の光ファイバを設計するにおいては、 $A_{\text{eff}}$ を大きくして非線形効果を低減するだけではなく、その使用波長帯において曲げ損失が小さく、低損失で、かつシングルモード伝送が可能なカットオフ波長（ $\lambda_c$ ）を有する必要がある。

【0006】これらの特性値を満たすDSFとして、図3に示すセグメントコア型屈折率プロファイルを有するものが開発されている。図中符号21は最も高屈折率の中心コア部であり、この中心コア部21の周囲には、これよりも低屈折率の第1リングコア部22が設けられ、この周囲に前記中心コア部21よりも低屈折率で、前記第1リングコア部22よりも高屈折率の第2リングコア部23が設けられている。そしてこの第2リングコア部23の周囲には、この第2リングコア部23よりも低屈折率のクラッド24が形成されている。

【0007】符号a2は中心コア部21の半径、b2は第1リングコア部22の半径、c2は第2リング部23の半径を示している。また $\Delta 21$ は中心コア部21とクラッド24との比屈折率差、 $\Delta 22$ は第1リングコア部22とクラッド24との比屈折率差、 $\Delta 23$ は第2リングコア部23とクラッド24との比屈折率差を示している。この例においては第1リングコア部22の屈折率とクラッド24の屈折率は等しいので、 $\Delta 22$ はゼロとなっている。また、図中にはこの屈折率プロファイルを有するDSFの構造パラメータの設計例が示されている。

【0008】この屈折率プロファイルを有するDSFにおいては $A_{\text{eff}}$ を $80\mu\text{m}^2$ 前後にまで増大することができるが、分散スロープが大きいという問題がある。最近では波長多重伝送システムの開発が進んでいるが、

波長多重伝送システムにおいて分散スロープが大きいと、各波長間の分散値の差が大きくなり、伝送状態のばらつきを招き、伝送特性が劣化するので好ましくない。このため最近では、分散スロープが小さいというさらなる条件を満足するものが求められている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】よって本発明における課題は、 $A_{eff}$ を増大して非線形効果を低減することができるとともに、その使用波長帯において曲げ損失が小さく、低損失で、かつシングルモード伝送が可能なカットオフ波長を有するDSFであって、特に分散スロープが小さいDSFを得ることにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1の発明は、波長1.55 $\mu$ m帯において、波長分散がほぼゼロであって、かつ有効断面積が80~130 $\mu$ m<sup>2</sup>であり、かつ曲げ損失が10dB/m以下であり、かつ分散スロープが+0.1ps/km/nm<sup>2</sup>以下であり、かつカットオフ波長が1.55 $\mu$ m帯において常にシングルモード伝搬となる値をとることを特徴とする分散シフト光ファイバである。第2の発明は、前記第1の発明記載の分散シフト光ファイバにおいて、中心コア部の外周に第1リング部が設けられ、この第1リング部の外周に第2リング部が設けられ、この第2リング部の外周に第3リング部が設けられ、この第3リング部の外周にクラッドが設けられてなる屈折率プロファイルを有し、前記中心コア部の屈折率を $n_0$ 、前記第1リング部の屈折率を $n_1$ 、前記第2リング部の屈折率を $n_2$ 、前記第3リング部の屈折率を $n_3$ 、前記クラッドの屈折率を $n_4$ とすると、 $n_0 > n_4$ で、 $n_2 > n_4$ で、 $n_3 < n_4$ で、 $n_1 < n_4$ で、 $n_0 < n_2$ であることを特徴とする分散シフト光ファイバである。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明のDSFは、波長1.55 $\mu$ m帯において、波長分散がほぼゼロであってゼロではなく、かつ有効断面積が80~130 $\mu$ m<sup>2</sup>であり、かつ曲げ損失が10dB/m以下であり、かつ分散スロープが+0.1ps/km/nm<sup>2</sup>以下であり、かつカットオフ波長( $\lambda_c$ )が1.55 $\mu$ m帯において常にシングルモード伝搬となる値をとるものである。

【0012】本発明において使用波長1.55 $\mu$ m帯とは、波長1520nmから1580nmの波長領域を指すものである。また、波長分散がほぼゼロとは、この使用波長帯において波長分散値が-5~+5ps/nm $\cdot$ kmの範囲にあることをいうが、波長分散値が0ps/nm $\cdot$ kmの値をとらないことが必要である。これは、波長分散値が0ps/nm $\cdot$ kmであると、4光子混合などの非線形効果の影響が大きくなり不都合となるためである。

【0013】また、有効断面積 $A_{eff}$ は、下記関係式

で定義されるものである。

【0014】

【数1】

$$A_{eff} = \frac{2\pi \left\{ \int_0^r r |E(r)|^2 dr \right\}^2}{\int_0^r r |E(r)|^4 dr}$$

$r$  : 半径、 $E(r)$  : 半径 $r$ での電界強度

【0015】曲げ損失は、波長1.55 $\mu$ mで曲げ径(2R)が20mmの条件の値をいうものとする。カットオフ波長はJISまたはCCITTの2m法によって測定された値、もしくは実際の使用状態において測定された値をいうものとする。また、分散スロープとは、波長分散値の波長依存性を示すもので、横軸に波長(nm)を、縦軸に波長分散値(ps/km $\cdot$ nm)を取って、分散値をプロットした際の曲線の勾配をいうものである。

【0016】本発明のDSFの大きな特徴は、分散スロープが+0.1ps/km/nm<sup>2</sup>以下であり、十分に小さいことである。これと同時に、有効断面積 $A_{eff}$ を80~130 $\mu$ m<sup>2</sup>に増大させることができるので、非線形効果を低減することができる。また曲げ損失はできるだけ小さいことが望ましく、本発明のDSFでは10dB/m以下という小さい値を実現することができるので、DSFの湾曲による伝送損失への影響が小さいものである。

【0017】 $A_{eff}$ が80 $\mu$ m<sup>2</sup>未満では非線形効果の低減が十分ではなく、130 $\mu$ m<sup>2</sup>をこえるものは実際の製造が困難である。また分散スロープは+0.1ps/km/nm<sup>2</sup>をこえると、本発明の目的とする分散スロープの低減が不十分となる。さらにDSFは通常シングルモード光ファイバであり、使用波長帯において常にシングルモード伝搬を行う必要があり、このためにはカットオフ波長はシングルモード伝搬を保証するものでなければならない。

【0018】本発明のDSFがこのような特性値を有するためには、このものが、例えば図1に示すような屈折率プロファイルを有することが必要条件となる。図1において、符号1は中心コア部であり、この中心コア部1の外周には第1リング部2が設けられ、この第1リング部2の外周には第2リング部3が設けられ、この第2リング部3の外周には第3リング部4が設けられ、この第3リング部4の外周にはクラッド5が設けられ、これらは、中心コア部1を中心とした同心円状に配置されている。

【0019】ここで、中心コア部1の屈折率を $n_0$ 、第1リング部2の屈折率を $n_1$ 、第2リング部3の屈折率を $n_2$ 、第3リング部4の屈折率を $n_3$ 、クラッド5の屈折率を $n_4$ とすると、 $n_0 > n_4$ で、 $n_2 > n_4$ で、 $n_3 < n$

4で、 $n_1 < n_4$ で、 $n_0 < n_2$ となっている。特に $n_0 < n_2$ で、中心コア部1よりも第2リング部3の屈折率が高くなっている点が大きな特徴となっている。後述するように、クラッド5は純粋シリカまたはフッ素ドープシリカからなるので、 $n_4$ は純粋シリカレベルに限定されない。

【0020】また、図1に示す屈折率プロファイルにおいて、 $\Delta 1$ は中心コア部1とクラッド5との比屈折率差、 $\Delta 2$ は第1リング部2とクラッド5との比屈折率差、 $\Delta 3$ は第2リング部3とクラッド5との比屈折率差、 $\Delta 4$ は第3リング部4とクラッド5との比屈折率差を示す。また、 $a$ は中心コア部1の外径の半径、 $b$ は第1リング部2の外径の半径、 $c$ は第2リング部3の外径\*

10

\*の半径、 $d$ は第3リング部4の外径の半径を示している。また、図中にこの屈折率プロファイルを有するDSFの構造パラメータの設計例が示されている。

【0021】屈折率プロファイルにおけるこれらの構造パラメータを調整することによって、上述の本発明の特性値を満たすDSFが得られる。表1は、屈折率プロファイルの必要条件を満たし、本発明の特性値を有するDSFを得るための具体的な構造パラメータの組み合わせと、それによって得られるDSFのカットオフ波長( $\lambda_c$ )、 $A_{eff}$ 、曲げ損失(曲損)、分散スロープの値を示したものである。

【0022】

【表1】

a ( $\mu\text{m}$ )	b ( $\mu\text{m}$ )	c ( $\mu\text{m}$ )	d ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	$\Delta 4$ (%)	$\lambda_c$ ( $\mu\text{m}$ )	$A_{eff}$ ( $\mu\text{m}^2$ )	曲げ損失 (dB/m)	分散スロープ (ps/km/nm <sup>2</sup> )	波長分散 (ps/km/nm)
1.1	3.3	4.4	5.0	0.5	0.2	1.2	0.2	1.70	118.3	4.28	+0.100	+0.01
1.0	3.1	4.1	4.6	0.2	0.2	1.3	0.2	1.67	106.2	4.05	+0.100	+0.01
1.0	3.1	4.6	5.2	0.4	0.3	1.0	0.3	1.70	117.1	7.46	+0.096	+0.38
0.38	2.3	3.5	4.0	0.1	0.3	1.2	0.3	1.48	83.7	8.08	+0.095	-1.16
1.0	3.1	4.1	4.6	0.6	0.1	1.3	0.1	1.75	98.8	0.12	+0.095	+4.06

【0023】表1から理解されるように、各構造パラメータの広い範囲からの組み合わせによって、目的とする特性を有するDSFが得られることが明らかである。このような観点から、本発明ではDSFの構造パラメータの値によって発明を特定することが困難であり、特性値によってその特定を行うようにしたものである。そして、かかる特性値は、従来知られているDSFでは取り得ないものであることはいうまでもない。

【0024】本発明のDSFにあっては、これによって $A_{eff}$ を大きくするとともに、曲げ損失を10dB/m以下に小さく抑え、分散スロープを+0.1ps/km/nm<sup>2</sup>以下と、十分に小さくすることができるものである。

【0025】本発明のDSFは、通常のVAD法によって一連の工程でファイバ母材を得た後、これを線引きして製造できる。例えば中心コア部1および第2リング部3はゲルマニウムドープシリカまたは純粋シリカによって、第1リング部2、第3リング部4およびクラッド5は純粋シリカまたはフッ素ドープシリカとすることによって作製される。このように大量生産に向いているVAD法によって作製することができるので、低コストである。また、VAD法によれば一連の工程でファイバ母材を得ることができるので、外付け法などと比較して、形成材料が異なる部分どうしの境界における汚染の心配が少なく、これに起因する伝送特性の劣化を防ぐことができる。

30

【0026】

【実施例】

(実施例) 図1に示す屈折率プロファイルを有するDSFを、VAD法によって作製した。屈折率プロファイルにおける構造パラメータは図1に示す数値と同様とした。表2にこのDSFの特性値を示す。

【0027】

【表2】

項目	結果
伝送損失	dB/km, @1550nm
$\lambda_c$	$\mu\text{m}$
MFD	$\mu\text{m}$ , @1550nm
$A_{eff}$	$\mu\text{m}^2$ @1550nm
曲げ損失	dB/m, @1550nm 2R=20mm $\phi$
波長分散	ps/km/nm, @1550nm
分散スロープ	ps/km/nm <sup>2</sup> , @1550nm

40

【0028】 $A_{eff}$ を118.3 $\mu\text{m}^2$ に増大することができ、かつ分散スロープを+0.1ps/km/nm<sup>2</sup>と小さく抑えることができた。したがって、非線形効果を抑制して高パワー密度の光を有効に伝送することができ、かつ波長多重伝送システムにも好適なDSFを得ることができた。

50 【0029】(比較例1) 図2に示す階段型屈折率プロ

ファイラを有するDSFを、VAD法によって作製した。屈折率プロファイルにおける構造パラメータは図2に示す数値と同様とした。表3にこのDSFの特性値を示す。

【0030】

【表3】

項目		結果
伝送損失	dB/km, @1550nm	0.20
$\lambda_c$	$\mu\text{m}$	0.935
MFD	$\mu\text{m}$ , @1550nm	7.75
Aeff	$\mu\text{m}^2$ @1550nm	44.2
曲げ損失	dB/m, @1550nm 2R=20mm $\phi$	7.55
波長分散	ps/km/nm, @1550nm	+0.01
分散スロープ	ps/km/nm <sup>2</sup> , @1550nm	+0.074

【0031】 Aeffが44.2  $\mu\text{m}^2$ と小さく、高パワー密度の光を伝送するには、非線形効果が発生し、有効に伝送できず、光信号の伝送距離をのばすことができないと予測された。

【0032】 (比較例2) 図3に示すセグメントコア型屈折率プロファイルを有するDSFを、VAD法によって作製した。屈折率プロファイルにおける構造パラメータは図3に示す数値と同様とした。表4にこのDSFの特性値を示す。

【0033】

【表4】

項目		結果
伝送損失	dB/km, @1550nm	0.21
$\lambda_c$	$\mu\text{m}$	1.68
MFD	$\mu\text{m}$ , @1550nm	9.2
Aeff	$\mu\text{m}^2$ @1550nm	82.2
曲げ損失	dB/m, @1550nm 2R=20mm $\phi$	5.55
波長分散	ps/km/nm, @1550nm	+0.01
分散スロープ	ps/km/nm <sup>2</sup> , @1550nm	+0.135

【0034】 Aeffを82  $\mu\text{m}^2$ に増大することができ、非線形効果を抑制することができるものであるが、分散スロープが+0.135 ps/nm<sup>2</sup>/kmと大きく、波長多重伝送システムに用いた場合には、各波長間の分散値の差が大きくなり、伝送特性が劣化することが予測された。このように本発明に係る実施例のDSFは、比較例1、2のものとは比べて、Aeffを増大することができるとともに、分散スロープを十分に小さくすることができる優れた特性を有するものであることが確認できた。

【0035】

【発明の効果】 以上説明したように、本発明のDSFは、Aeffを増大して非線形効果を低減することができるとともに、その使用波長帯において曲げ損失が小さく、低損失で、かつシングルモード伝送が可能なカットオフ波長を有するDSFであって、特に分散スロープを十分に小さくすることができるものである。よって本発明においては、高パワー密度の光を有効に伝送することができ、かつ波長多重伝送システムにも好適なDSFを提供することができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のDSFにおける屈折率プロファイルの例を示す図である。

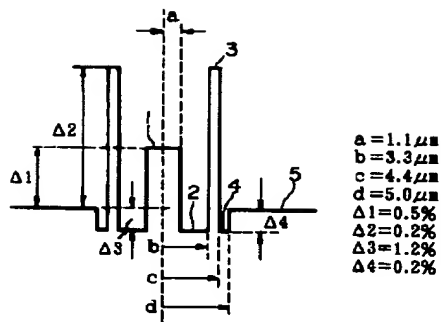
【図2】 階段型屈折率プロファイルの一例を示す図である。

【図3】 セグメントコア型屈折率プロファイルの一例を示す図である。

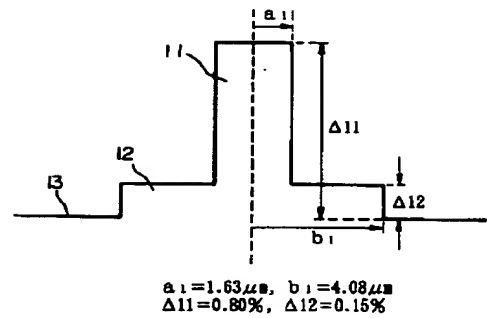
【符号の説明】

1…中心コア部、2…第1リング部、3…第2リング部、4…第3リング部、5…クラッド。

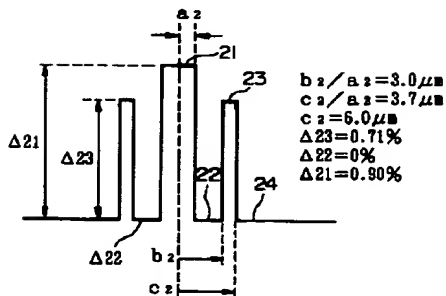
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 山内 良三  
 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
 クラ佐倉工場内